PCT WELTORGANISATION FÜR GHISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :		(11) Internationale Veröffentlichungsnammer	WO 97/09531
F03D 7/04, 7/02	A1	(43) Internationales Veröffentlichungsdatum; 13.	Marz 1997 (13.03.97)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/EP96/03801

(22) Internationales Anmeldedatum: 29. August 1996 (29.08.96)

DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,

(30) Prioritätsdaten:

195 32 409.9

1. September 1995 (01.09.95) DE

(71)(72) Anmelder und Erfinder: WOBBEN, Aloys [DE/DE]; Argestrasse 19, D-26607 Aurich (DE).

(74) Anwalt: GÖKEN, Klaus, G.; Eisenführ, Speiser & Partner, Martinistrasse 24, D-28195 Bremen (DE).

### Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.

(81) Bestimmungsstuaten: NZ, europäisches Patent (AT, BE, CH,

(54) Title: METHOD OF OPERATING A WIND POWER STATION

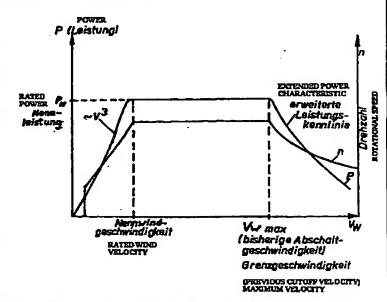
(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER WINDENERGIEANLAGE

## (57) Abstract

The invention pertains to a method of operating a wind power station, especially to limit the load on a wind power station, preferably a pitch-controlled wind power station. The invention also pertains to a corresponding wind power station. The invention is designed to increase the output of a wind power station and yet limit the load on the wind power station at very high wind velocities. This is accomplished by reducing the power of the wind power station as a function of wind velocity as of a predetermined wind velocity, preferably by reducing the operating velocity of the rotor of the wind power station when a wind appears with a wind velocity above a maximum wind velocity or maximum velocity in the blower stream.

### (57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage, insbesondere zur Begrenzung der Belastung einer Windenergieanlage, vorzugsweise einer pitchgeregelten Windenergieanlage. Weiter betrifft die Erfindung eine zugehörige Windenergieanlage. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Ertrag einer Windenergieanlage zu



erhöhen und dennoch die Belastung der Windenergieanlage bei höheren Windgeschwindigkeiten zu begrenzen. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Leistung der Windenergieanlage windgeschwindigkeitsabhängig ab einer vorbestimmbaren Windgeschwindigkeit vermindert wird, vorzugsweise indem die Betriebsdrehzahl des Rotors der Windenergieanlage bei Auftreten eines Windes mit einer Windgeschwindigkeit oberhalb einer Grenzwind- oder -anströmgeschwindigkeit reduziert wird.

# LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	America	GB	Veselaigtes Könlereich	MX	Mexiko
AT	Osterreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	BU	Uogam	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Paso	1B	bland	PL	Polea
BG	Bulgarica	IT	Italien	PT	Poingal
BJ	Benia	JP	Japan	RO	Ruminien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirghistan	SID.	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
C7	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kango	KZ	Kasachstan	SI	Slowenies
CH	Schweiz	L	Licchenstein	SK	Slovekci
α	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	8Z	Swasiland
CN	China	LK	Litauen	170	Tuched
CS	Techechoslowskei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lenland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad and Tobaco
DK	Dimentark	MD	Republik Moldan	UA	Ukraine
ER	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
E8	Spanien	MI.	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
71	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Uabekistan
FR	Frankreich	MR	Mauretaniea	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

# VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER WINDENERGIEANLAGE

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage, insbesondere zur Begrenzung der Belastung einer Windenergieanlage, vorzugsweise einer pitchgeregelten Windenergieanlage. Weiter betrifft die Erfindung eine zugehörige Windenergieanlage.

Die Rotorblätter des Rotors einer Windenergieanlage werden durch den auf sie wirkenden Staudruck belastet, der von den herrschenden Windverhältnissen, insbesondere von der Windgeschwindigkeit des herrschenden Windes abhängt. Dieses Abhängigkeitsverhältnis ergibt sich aus:

(1)

$$q = \frac{\rho}{2} \cdot v^2,$$

wobei q der wirksame Staudruck, p die Luftdichte und v zunächst einmal die Anströmgeschwindigkeit des Windes am Profil ist.

Die Anströmgeschwindigkeit v setzt sich vektoriell aus der tatsächlichen Windgeschwindigkeit v $_{\rm w}$  und der örtlichen Umfangsgeschwindigkeit v $_{\rm u}$  an einem Ort des Rotorblattes zusammen.

## ORIGINAL ULTERLAGEN

- 2 -

Dabei ist:

(2)

$$\mathbf{v}_{y}=r\cdot 2\pi\cdot \frac{n}{60},$$

wobei n die Rotordrehzahl ist und r der betrachtete Rotorradius ist.

Für den Fall, daß die tatsächliche Windgeschwindigkeit  $v_w$  senkrecht zur Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  steht, der herrschende Wind also frontal bzw. axial auf den Rotor der Windenergieanlage bläst, ergibt sich mit Hilfe des Satzes von Pythagoras:

(3)

$$\nabla = \sqrt{\nabla_U^2 + \nabla_B^2} .$$

In diesem Falle ist außerdem der Anströmwinkel  $\alpha$ , also der Winkel zwischen der Anströmgeschwindigkeit v und der Umfangsgeschwindigkeit v, zu berechnen aus:

(4)

$$\tan \alpha = \frac{\nabla_{\mu \nu}}{\nabla_{U}} .$$

Die am Blattprofil wirkende Kraft wird mit den Profilpolaren ermittelt, nämlich als:

(5)

$$F_A = q \cdot A \cdot c_\alpha,$$

wobei  $F_{\lambda}$  die auf das Blattprofil wirkende Kraft ist, q der wirksame Staudruck ist,  $\lambda$  die angeströmte Fläche bzw. Bezugsflä-

- 3 -

the des Rotorblattes ist und  $c_{\infty}$  die Profilpolare als Funktion des Anströmwinkels  $\infty$  ist.

In dem hier interessierenden Bereich kann die Profilpolare  $c_{\alpha}$  annähernd linear beschrieben werden als:

(6)

$$c_n = \text{konst.} \cdot \alpha$$
,

bzw. für kleine Winkel (im Bogenmaß):

(7)

$$\alpha(\nabla_{y} << \nabla_{y}): \tan \alpha \approx \alpha$$
.

Daraus folgt mit Gleichung (4):

(8)

$$c_{\alpha} = \text{konst.} \frac{\mathbf{v}_{\mathbf{F}}}{\mathbf{v}_{\alpha}}$$
.

Weiter folgt mit Gleichung (5):

(9)

$$F_4 = \frac{\rho}{2} \cdot (\mathbf{v}_U^2 + \mathbf{v}_W^2) \cdot A \cdot konst \cdot \frac{\mathbf{v}_W}{\mathbf{v}_U},$$

bzw. unter Zusammenfassung der konstanten Glieder:

(10)

$$F_A = konst \cdot (v_w^2 + v_U^2) \cdot \frac{v_w}{v_U} .$$

Natürlich steht der Geschwindigkeitsvektor des anströmenden Windes  $v_{\rm w}$  nicht immer senkrecht auf der Umfangsgeschwindigkeit  $v_{\rm m}$ , so daß Gleichung (3) nicht immer gilt. Die vorhergehenden

Gleichungen lassen jedoch zumindest qualitativ Abhängigkeiten der verschiedenen Parameter von einander erkennen.

Insbesondere ist aus der Gleichung (1) zu entnehmen, daß der den Rotor der Windenergieanlage beslastende wirksame Staudruck q quadratisch von der Anströmgeschwindigkeit v abhängt.

Die jeweilige Windenergieanlage kann also ab einer bestimmten maximalen Anströmgeschwindigkeit  $v_{max}$  ihre Belastungsgrenze erreichen.

Es ist aus Robert Gasch: "Windkraftanlagen", B. G. Teubner Stuttgart, 1933, S. 303 ff. und Erich Hau: "Windkraftanlagen", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo, 1988 S. 323 f., S. 330 ff. bekannt, zur Begrenzung der Belastung einer Windenergieanlage im Sinne des Verfahrens der eingangs genannten Gattung eine Windenergieanlage bei Erreichen einer maximalen Windgeschwindigkeit vwmax abzuschalten. Insbesondere bei Windparks führt eine solche Abschaltung, bei der alle Windnenergieanlagen des Windparks bei Erreichen der Abschaltgeschwindigkeit nahezu zeitgleich abschalten, bzw. das Wiederanschalten nach einer solchen Abschaltung bei nachlassendem Wind zu starken Leistungsgradienten, die sich durch eine plötzliche Spannungsänderung im elektrischen Natz, an dem diese Windenergieanlagen angeschlossen sind, bemerkbar machen,

Der Erfindung liegt die Aufgaba zugrunde, den Ertrag einer Windenergieanlage zu erhöhen und dennoch die Belastung der Windenergleanlage bei höheren Windgeschwindigkeiten zu begrenzen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Leistung der Windenergieanlage windgeschwindigkeitsabhängig ab einer vorbestimmbaren Windgeschwindigkeit vermindert wird, vorzugsweise indem die Betriebsdrehzahl des Rotors der

- 5 -

Windenergieanlage bei Auftreten eines Windes mit einer Windgeschwindigkeit oberhalb einer Grenzwind- oder -anström-geschwindigkeit reduziert wird.

Aus den obengenannten Gleichungen (1), (3) und (10) ist, jedenfalls qualitativ, erkennbar, daß der das Rotorblatt belastende Staudruck, ebenso wie die am Blattprofil wirkende und somit das Rotorblatt belastende Kraft, jeweils von der Umfangsgeschwindigkeit vu und somit also von der Betriebsdrehzahl des Rotors abhängt. Zur Begrenzung der Belastung des Rotors der Windenergieanlage kann also bei steigender Windgeschwindigkeit vu bzw. bei einer ungünstigen Anströmrichtung (je nachdem, welcher Parameter als Meßgröße genommen wird), die jeweils zum ungünstigen Anwachsen der resultierenden Anströmgeschwindigkeit v führen könnten, einem Anwachsen der Belastung durch eine Reduzierung der Drehzahl, also der Umfangsgeschwindigkeit, des Rotors entgegengewirkt werden.

Anders als bisher vorgesehen, wird also erfindungsgemäß mit Vorteil nicht die Windenergieanlage bei Erreichen einer Grenzgeschwindigkeit vollständig abgeschaltet werden und diese Grenzgeschwindigkeit also als Abschaltgeschwindigkeit definiert, sondern die Windenergieanlage wird lediglich zwangsweise in ihrer Betriebsdrehzahl reduziert, sobald die Anströmgeschwindigkeit v über den Wert der Grenzgeschwindigkeit anwächst. Die Windenergieanlage kann also oberhalb der üblichen "Abschaltgeschwindigkeit" weiter betrieben werden, wodurch ihre Leistungskennlinie zu größeren Windgeschwindigkeiten verlängert und der

- 6 -

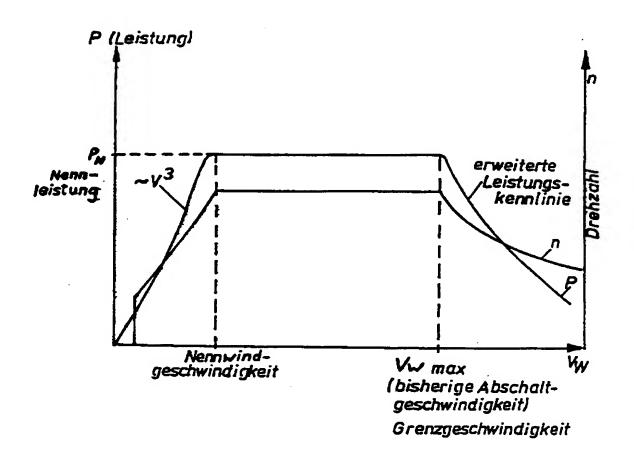
Energieertrag und die Netzverträglichkeit der Windenergieanlage verbessert werden. Insbesondere können durch die zwangsweise Betriebsdrehzahlreduzierung bei pitchgeregelten Windenergieanlagen die Belastungen durch die Erfindung in günstiger Weise begrenzt werden. Es werden durch die Erfindung zu starke, wechselnde Belastungen der Rotorblätter und damit zu unsymmetrische, pulsierende Belastungen der ganzen Anlage, die mit steigender Windgeschwindigkeit zunehmen, vermieden.

Möglichkeiten zur Betriebsdrehzahlreduzierung sind für andere als den erfinderischen Zweck an sich hinreichend bekannt. Eine Reduzierung der Betriebsdrehzahl kann bei einer pitchgeregelten Windenergieanlage z.B. einfach durch eine aktive Blattverstellung erreicht werden. Dies bedeutet, daß durch Änderung des Anstellwinkels des Blattprofiles des Rotors der Auftrieb am Rotorblatt beeinflußt wird, und damit eine Reduzierung der Rotordrehzahl erzielt werden kann. In Verbindung mit einem drehzahlvariabel betriebenen Antriebsstrang, z. B. für einen Pumpenbetrieb, die Netzeinspeisung über Wechselrichter oder dgl., wird weiterhin ein Produktionsbetrieb ermöglicht.

Eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß die Drehzahl des Rotors derart reduziert wird, daß das auf den Rotor der Windenergieanlage wirkende Belastungsniveau bei steigender Windgeschwindigkeit oberhalb der Grenzgeschwindigkeit annähernd konstant bleibt oder reduziert wird. Auf diese Weise kann vermieden werden, daß der Antriebsstrang der Windenergieanlage überlastet wird. Gleichzeitig wird hierdurch bei

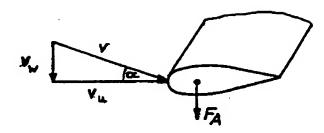
1/2

<u>Fig.1</u>

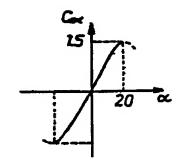


2/2

<u>Fig.2</u>







# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inten nales Aktenzeichen
PCT/EP 96/03801

A. KLASS IPK 6	F03D7/04 F03D7/02		
Nach der in	nternationalen Patentidassifikation (IPK) oder nach der nationalen Kla	essifikation und der IPK	
	ERCHIERTE GEBIETE		
	rter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbo	de )	
IPK 6	F03D		
Recherchier	rte aher nicht zum Mundestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, so	went diese unter die recherchierten Gebitte	fallen
Während de	er internationalen Recherche konsultierte elektromische Datenbank (Ni	ume der Datenbank und evil, verwendete	Suchbegriffe)
C. ALS W	ESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategone"	Bezeichnung der Veröffentlichung, sowat erforderlich unter Angab	e der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 266 715 A (NORTHERN POWER SYINC) 11.Mai 1988 siehe Zusammenfassung siehe Seite 4, Zeile 28 - Zeile 5 Abbildung 6		1-5
х	E.W.GOLDING: "The generation of electricity by wind power." 1976 , SPON LTD , LONDON,GB XP002 siehe Seite 212 - Seite 213	921258	1,2
		/	
	itere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu nehmen	X Siche Anhang Patentiamilie	
"A" Veröff aber i "E" älteres	e Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : ffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, nicht als beronders bedeutzam anzusehen ist z Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen	T Spätzre Veröffentlichung, die nach der oder dem Prioritätedellum veröffentlic Anneidung nocht kolidiert, sondern e Erfindung zugrundeliegenden Prinzip Theorie angegeben ist	ht worden ist und mit der nur sumVerstindnis des der s oder der ihr sugrundeliegenden
"L" Veröft scheu ander soll o	fiendichung, die geergnet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelbaft er- nen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer ren im Racherchenbencht genannten Veröffentlichung betegt werden oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie	kann nicht als auf erfinderischer Tätig	nening men als net over all rechtet werden extung: die besnspruchte Erlindun ekrit beruhend betrachtet
O' Verof	eführt) (hendichung, die zich auf eine mündliche Offenbarung, Benunnung, eine Ausstellung oder andere Malkahmen bezieht (fentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach	werden, wenn die Veröffentlichung zu Veröffentlichungen dieser Kategone i diese Verbindung für einen Fachman *A. Veröffentlichung, die Mitglied dersell	it einer oder memeren ameren in Verbindung gebracht wird und in nabeliegend ist
	beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist s Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen R	
	16.Dezember 1996	09.01.97	
Name und	1 Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter	
:	Europhisches Patentamt, P.B. 5818 Patentiaan 2 NL - 2280 HV Rijswyk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Faze (+31-70) 340-3016	Criado Jimenez,	F

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

PCT/EP 96/03801

		PCT/EP 96	2/63961
C.(Fortsetz	ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategone"	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kom	menden Teile	Betr. Anspruch Nr.
x	WIND ENERGY CONVERSION 1995. PROCEEDINGS OF THE 17TH BRITISH WIND ENERGY ASSOCIATION CONFERENCE, PROCEEDINGS OF 17TH ANNUAL CONFERENCE. BRITISH WIND ENERGY ASSOCIATION, WARWICK, UK, 19-21 JULY 1995, ISBN 0-85298-961-X, 1995, BURY ST. EDMUNDS, UK, MECH. ENG. PUBLICATIONS, UK, Seiten 243-248, XP000612993 CARDENAS R ET AL: "Adaptive pitch control for variable speed wind turbines" siehe Seite 243, linke Spalte, Absatz 1-2		1,2
X	PROCEEDINGS OF THE 22ND IEEE CONFERENCE ON DECISION AND CONTROL, SAN ANTONIO, TX, USA, 14-16 DEC. 1983, 1983, NEW YORK, NY, USA, IEEE, USA, Seiten 1417-1421 vol.3, XP000612992 LYONS J P JR ET AL: "The control of variable-speed wind turbine generators" siehe Seite 1419, rechte Spalte, Absatz 1		
eresblett PCT	75A/210 (Portuetoung von Biatt 2) (Juli 1992)	Seite 2	2

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Inter. nates Alterszeichen
PCT/EP 96/03801

Im Recherchenbericht geführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglie Paten	d(er) der tfamilie	Datum der Veröffendlichung
EP-A-0266715	11-05-88	US-A- JP-A-	4792281 63192969	29-12-88 19 <b>-</b> 98-88

Formblett PCT/ISA/210 (Anhang Petenthamilie)/Juli 1992)